

International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology
Vol-8, Issue-5; Sep-Oct, 2023
Peer-Reviewed International Journal
Journal Home Page Available: https://ijeab.com/
Journal DOI: 10.22161/ijeab



Air pollution in Bamako: Modeling, Pollution-Population Index

La pollution de l'air à Bamako: Modélisation, Indice Pollution-Population

Yacouba Maiga[1*], Bankoro Bagayoko[3], Hady Diallo[2], Boubacar Kola Touré[1,], Sékou Sako[1], Ousmane Coulibaly[1], Ibrahima Yattara[1], Mohamed Maiga[1]

[1]Faculté des Sciences et Techniques, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako. BP E 423, Mali. Tel: (223) 20 29 04 07
[2]Chaire UNESCO pour l'Environnement et la Recherche /Institut de Pédagogie Universitaire de Kabala BPE 475 Bamako- Mali. Tel (223) 20 70 77.71
[3]Institut Polytechnique Rural des Formation et de Recherche appliquée, Katibougou, Mali
*Auteur correspondant: E-mail: acpmfr@yahoo.fr; Such. (00223) 76 44 75 01

Received: 10 Mar 2023; Received in revised form: 29 Apr 2023; Accepted: 11 May 2023; Available online: 19 Sep 2023

Abstract— *This study on air pollution in Bamako carried out in 2019, aims to characterize the different sources of emissions, model the health impact of ambient air quality for the different scenarios, the proposal of an action plan to limit emissions, and the simulation of the evolution of emissions and ambient air quality by 2015 and 2020 with and without an action plan. The results of the two air quality measurement campaigns show concentration levels lower or substantially equal between those of July 2019 and those of the 2009 data. The PM10 concentration recorded indicates a significant excess area compared to the values concentration guides set by the WHO. Analysis of the evaluation of emissions and their health impact by 2015 and 2020 shows that pollution by volatile organic compounds and dust will become unacceptable if nothing is done. The number of cancers linked to benzene will increase to 686 cases and the increase in mortality due to dust to an average figure of 38.7%.*

***Keywords*— Pollution, modeling, health impacts, Bamako, Mali.**

***Résumé*—** *Cette étude sur la pollution de l'air à Bamako réalisée en 2019, a pour objectif, la caractérisation des différentes sources d'émissions, la modélisation de l'impact sanitaire de la qualité de l'air ambiant pour les différents scenarios, la proposition d'un plan d'actions pour limiter les émissions, et la simulation de l'évolution des émissions et de la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2015 et 2020 avec et sans plan d'actions. Les résultats des deux campagnes de mesures de la qualité de l'air montrent des niveaux de concentration inférieurs ou sensiblement égaux entre ceux de Juillet 2019 à ceux des données de 2009. La concentration en PM10 relevée indique une zone de dépassement importante par rapport aux valeurs guides de concentrations fixées par l'OMS. L'analyse de l'évaluation des émissions et de leur impact sanitaire aux horizons 2015 et 2020 montre que la pollution par les composés organiques volatils et les poussières deviendra inacceptable si rien n'est fait. Le nombre de cancers liés au benzène passera à 686 cas et l'augmentation de la mortalité due aux poussières à un chiffre moyen de 38,7%.*

***Mots clés*— Pollution, modélisation, impacts sanitaires, Bamako, Mali.**

I. INTRODUCTION

La principale source de pollution atmosphérique domestique est la combustion à l'intérieur des logements de combustibles fossiles, de bois et d'autres combustibles à base de biomasse pour cuisiner, chauffer et éclairer les habitations. Dans de nombreux pays, la production d'énergie est l'une des principales sources de pollution atmosphérique. Les centrales électriques au charbon y contribuent largement, tandis que les générateurs diesel sont une préoccupation croissante dans les zones hors réseau. Sur le plan mondial, le secteur des transports génère près d'un quart des émissions de dioxyde de carbone liées à l'énergie, et cette proportion augmente. Les émissions générées par les transports sont associées à près de 400 000 décès prématurés. Près de la moitié des décès dus à la pollution de l'air imputable aux transports sont imputables aux émissions de diesel, tandis que les personnes vivant à proximité des principales artères de la circulation ont 12% plus de risques de souffrir de démence. La réduction des émissions des véhicules est une intervention importante pour améliorer la qualité de l'air, en particulier dans les zones urbaines. Les politiques et les normes qui exigent l'utilisation de carburants plus propres et de normes avancées en matière d'émission des véhicules peuvent réduire les émissions de ces véhicules de 90% ou plus.

L'agriculture consiste en deux sources principales de pollution atmosphérique : le bétail, qui produit du méthane et de l'ammoniac, et la combustion des déchets agricoles. Les émissions de méthane contribuent à l'ozone troposphérique, qui provoque l'asthme et d'autres maladies respiratoires. Le méthane est également un gaz plus puissant que le dioxyde de carbone pour le réchauffement de la planète. Son impact est 34 fois plus important sur une période de 100 ans. Environ 24% de tous les gaz à effet de serre émis dans le monde proviennent de l'agriculture, de la foresterie et des autres utilisations des terres.

La combustion des déchets à ciel ouvert ainsi que les déchets organiques dans les décharges rejettent dans l'atmosphère des dioxines, des furannes, du méthane et du carbone noir nocifs. À l'échelle mondiale, environ 40% des déchets sont brûlés à ciel ouvert. Le problème est particulièrement grave dans les régions en urbanisation et les pays en développement. La combustion à ciel ouvert de déchets agricoles et / ou municipaux est pratiquée dans 166 pays sur 193. L'amélioration de la collecte, de la séparation et de l'élimination des déchets solides réduit la quantité de déchets brûlés ou enfouis. La séparation des déchets organiques et leur transformation en compost ou en bioénergie améliorent la fertilité du sol et constituent une source d'énergie alternative. Réduire environ un tiers de tous les aliments perdus ou gaspillés conduit à améliorer la qualité de l'air.

L'ensemble de la pollution atmosphérique ne provient pas de l'activité humaine. Les éruptions volcaniques, les tempêtes de poussière et autres processus naturels posent également problème. Les tempêtes de sable et de poussière sont particulièrement préoccupantes. De fines particules de poussière peuvent parcourir des milliers de kilomètres à la suite de ces tempêtes, qui peuvent également véhiculer des agents pathogènes et des substances nocives, provoquant des problèmes respiratoires aigus et chroniques. La pollution atmosphérique tue 5,5 millions de personnes par an dans le monde (dont 2,6 millons de décès indirects) selon des chiffres 2016 de la Banque mondiale: elle est devenue le quatrième facteur de décès prématuré sur Terre. Maladies cardiovasculaires, cancers des poumons, maladies pulmonaires chroniques, infections respiratoires... La pollution de l'air est coupable d'un décès sur dix dans le monde, six fois plus que le paludisme. La cause est l'Homme et son activité, par les industries, le trafic routier, les incinérateurs de déchets, le chauffage individuel et les centrales électriques aux combustibles fossiles. La pollution dans les villes provoque souvent un brouillard de polluants ou *smog*, souvent révélateurs de la densité de micro-particules et de l'impact du CO_2 et autres polluants sur l'environnement.

A Bamako, une prise de conscience des pouvoirs publics sur la pollution de l'air est apparue à la suite de quelques mesures de concentration en poussières réalisées en décembre 2008. La croissance rapide de la population et du trafic automobile de l'agglomération entraîne une croissance significative de cette pollution. Cette étude passe par un état des lieux de la pollution atmosphérique avec des mesures de qualité de l'air ambiant en un certain nombre de point, puis l'étude comprend un calcul des émissions réalisé à partir d'un modèle spécifique, enfin des propositions d'actions sont faites dans le but de diminuer les émissions et l'impact de ces actions est évalué par le biais d'un modèle sanitaire adapté. Les hypothèses du plan d'actions ont été testées sous la forme de scénarios. Les principales actions envisagées porteront sur le parc automobile et les transports, la qualité des carburants et enfin l'aménagement urbain.

II. OBJECTIF GENERAL

Caractériser de la qualité de l'air ambiant de Bamako et son impacte sur la santé.

Objectifs spécifiques

- Analyser la situation actuelle, de la qualité de l'air ambiant et les caractéristiques des émissions.

- Simuler l'évolution des émissions et de la qualité de l'air ambiant à l'horizon 2015 et 2020 avec et sans le plan d'actions
- Modéliser l'impact sanitaire de la qualité de l'air ambiant pour les différents scénarios

III. MATERIEL ET METHODE

3.1. Matériel

Les mesures réalisées :

- Par tubes passifs pour SO_2, NO_2 et BTX (marque Passam);

Les appareils de mesures utilisés étaient les suivants :

- Thermo Andersen ADR-1200S pour les particules :

PM10 en temps réel,

Précision de +/- 5% par rapport à méthode standard (gravimétrique);

- Drager Pac III E :

Mesure de CO en temps réel,

Enregistrement de 8000 valeurs,

Homologation Demko 02 ATEX 0135331 - EExia IIC T4.





Photos: 1.Thermo Andersen ADR-1200S, 2. Capteurs passifs, 3. Drager Pac

Milieu d'étude et contexte sanitaire de la ville de Bamako

Les données sanitaires de la ville ont été extraites des annuaires sanitaires réalisés par les hôpitaux et centres de santé de la ville. Pour chaque commune, il existe un inventaire du nombre d'admissions et de décès annuels selon la pathologie et l'âge du patient. Dans le contexte de cette étude, les pathologies liées au système respiratoire (toux et infections respiratoires aigües) ont été regroupées sous un même chapeau «pathologies respiratoires ».

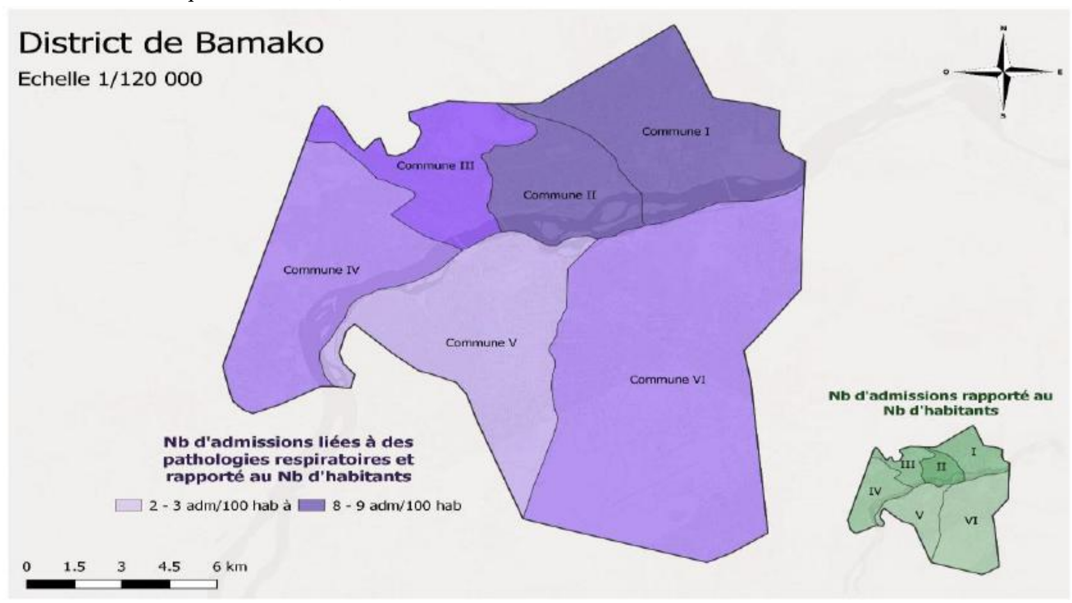


Fig.1: Admissions à l'hôpital liées à des pathologies respiratoires et admissions totales rapportées au nombre d'habitants par commune.

3.2. Méthode.

Outil numérique pour la modélisation atmosphérique

Dans le cadre de cette étude, le modèle ADMS est particulièrement bien adapté pour répondre aux enjeux de la pollution de l'air à l'échelle de la ville de Bamako. ADMS est capable de prendre en compte : La surélévation des panaches liée aux paramètres d'émissions des sources canalisées; Une historique représentative des conditions météorologiques caractérisées par les paramètres pouvant avoir une influence sur la dispersion des panaches : vitesses et direction du vent, températures, de la nébulosité et des précipitations; Les conditions de vents calmes; L'occupation des sols pouvant selon le type de sol modifier la dispersion des panaches; La prise en compte de la recirculation de la pollution dans les rues dites canyon.

Paramétrisation générale du modèle

La Paramétrisation générale de la modélisation intègre les caractéristiques suivantes :

Une zone d'étude de 730 km^2 qui contient la totalité du district de Bamako; Un maillage régulier de cette zone de 260 m x 260 m; Une hauteur de rugosité de 1 m, typique d'une zone urbaine; Les conditions météorologiques de 2018. Dans un souci d'optimisation des temps de calcul, les données ont été moyennées sur un pas de temps tri-horaire; Activation du module ADMS « vents calmes » qui tient compte de la composante de dispersion radiale caractéristique de ces vents calmes;

L'hypothèse majorante que les NO_x sont convertis intégralement en NO_2. En sortie, des concentrations moyennes annuelles (moyenne de concentrations horaires). A noter que l'ensemble des cartographies présentées dans cette thèse sont des concentrations moyennes annuelles. Les centrales thermiques sont assimilées à des sources ponctuelles sur la base des informations fournies lors des enquêtes auprès des personnels concernés

Validation du modèle avec les résultats des mesures

Le modèle numérique a été calibré en utilisant les données d'observation réalisées lors de la campagne de mesure réalisée au mois de juillet 2019. Pour rappel, cette campagne a été l'occasion de caractériser les niveaux de pollution observés et définis comme le fond urbain dans la ville de Bamako.

IV. RESULTATS

Caractéristiques des sources aéroportuaires et industrielles

Les dépôts sont assimilés à des sources volumiques. En considérant la hauteur H du volume comme la hauteur des tanks. Les émissions CPU, GSE, et Taxiing de la plateforme aéroportuaire sont également assimilées à des sources volumiques. Les émissions par le cycle LTO n'ont pas été intégrées à la modélisation. La hauteur (principalement > 500 m) de ce type de rejet ne leur permet pas d'influencer de façon significative les sorties du modèle.

Les émissions sont recalculées en $g/m^2/s$ ou $g/m^3/s$ selon le type de la source et sur la base des budgets estimés lors de l'inventaire d'émissions.

Emissions par le trafic routier

La dispersion des émissions par le trafic routier a été modélisée via la suite d'ADMS, *ADMS Roads*, qui prend en compte l'effet canyon. Le réseau routier modélisé comprend les axes sondés pendant la campagne de sondage (axes structurants et secondaires) et le restant du réseau secondaire. Les axes tertiaires n'ont pas été pris en compte. Sur les axes sondés, ont été renseignés les vitesses moyennes, le nombre de véhicule, et la typologie des tronçons. Sur la base des données du réseau secondaire sondé, ont ensuite été calculées et utilisés dans le modèle, un nombre moyen de véhicules et une vitesse de circulation moyenne.

Emissions de la combustion résidentielle et de l'incinération des déchets

Les émissions de la combustion résidentielle et de l'incinération des déchets ont été traitées de façon analogue, en les considérants comme de type surfacique. Le processus de spatialisation présenté ici est tiré de la méthode développée par le (LCSQA, 2012). La zone d'étude a initialement été découpée en un maillage régulier de 260 m x 260 m. Pour chacune des cellules, le nombre d'habitant a été calculé en tenant compte de la population totale dans chaque commune du district et du taux d'occupation des bâtiments spécifique à chacune des cellules du maillage. Le processus de croisement des données de bâtiments et de population est présenté sur la figure suivante. Les émissions résidentielles et d'incinération des déchets ont été rapportées par habitant (spécifiées en partie). Ainsi, la spatialisation des émissions de ces deux secteurs sur le maillage régulier de 260 m x 260 m a été réalisée à partir du produit des émissions unitaires avec le nombre d'habitants résidents dans chaque cellule.

Le modèle de dispersion a été configuré pour reproduire au mieux les conditions de la campagne de mesures. Plus précisément :

Les conditions météorologiques observées durant cette période ont été appliquées;

Les points de prélèvement ont été modélisés à 1,5 m au-dessus du sol.

A noter que les émissions n'ont, quant à elles, pas été modulées sur la période de la campagne par manque de données consolidées et homogènes sur l'ensemble des sources caractérisées. Ces émissions sont des estimations annuelles prises en compte dans la modélisation. Par conséquent, la modélisation proposée ici n'est pas en mesure de reproduire la contribution d'une source locale ayant lieu durant la campagne de prélèvement.

Les résultats des comparaisons modèle / mesures sont présentés sous forme d'histogrammes dans la figure 27 pour chaque polluant. A titre indicatif, des barres d'incertitudes de 30% pour les mesures de CO, de benzène et de NO_2, 50% pour les poussières fines (PM10) et 25% pour le SO_2 ont été reportées conformément aux objectifs de qualité prévus dans la directive européenne CE/50/2008. Selon la même directive, une incertitude tolérée de 50% est acceptée pour les résultats obtenus avec le modèle de dispersion.

Cette comparaison polluant par polluant peut être résumée comme suit :

Pour les poussières (PM10) : les niveaux modélisés sont du même ordre de grandeur que les valeurs mesurées dans les gammes d'incertitudes établies. Les tendances sur les niveaux entre les deux points de mesures sont bien respectées avec modélisation.

Pour le SO_2, le NO_2 et le benzène : les concentrations modélisées sont relativement proches des mesures. De façon analogue, les tendances sont globalement respectées entre les points de mesures ;

Pour le CO : On observe une large sous-estimation du modèle par rapport aux mesures d'un facteur 10. Ceci peut s'expliquer par une sous-estimation des émissions caractérisées dans cette étude notamment en raison des facteurs d'émission appliqués. Ces derniers sont généralement utilisés dans un contexte européen et peuvent par conséquent être peu représentatifs des émissions de ce polluant au niveau de la ville de Bamako. Par conséquent, un facteur de correction a été appliqué sur l'ensemble du domaine aux concentrations modélisées de CO dans cette étude. Ce facteur correctif, une fois appliqué permet d'obtenir des niveaux de concentrations des polluants proches de ceux observés (écart de 10% en moyenne).

L'analyse comparative modèle / mesures montre que, pour l'ensemble des polluants, à l'exception du CO, les niveaux modélisés sont représentatifs des valeurs mesurées durant la campagne, et ceci dans la gamme d'incertitude tolérée. Concernant le CO, un facteur correctif a été appliqué afin de reproduire la signature des concentrations mesurées. Un point de vigilance sur ce polluant sera maintenu, dans cette étude, notamment pour comprendre l'origine de ces écarts, avec une attention particulière sur les sources d'émissions et les facteurs d'émission sectoriels employés.

Cartographie de la pollution atmosphérique

Les cartographies de la pollution atmosphérique ont été construites en intégrant les standards internationaux pour chacun des polluants investigués. Ainsi, les valeurs guide de l'OMS ont été utilisées par défaut pour établir ce diagnostic. Dans le cadre de cette recherche, seules les concentrations moyennes annuelles ont été évaluées à partir des standards applicables.

Enfin, l'OMS ne renseigne pas de valeur annuelle pour le monoxyde de carbone. La valeur règlementaire disponible aux Etats-Unis et en Europe a été utilisée dans le cadre de cette étude. Le tableau suivant compile l'ensemble des valeurs applicables remontées depuis les trois organismes références dans le domaine (OMS, US-EPA et EU). Les valeurs en gras correspondent aux valeurs retenues pour évaluer l'impact des émissions atmosphériques sur la qualité de l'air de la ville de Bamako.

Les résultats sont comparés aux valeurs de concentration de référence. Les cartographies de concentration des émissions sont présentées dans les figures suivantes :

La Figure 2 permet d'apprécier la répartition spatiale des panaches de pollution pour voir les zones d'émissions les plus impactantes. La Figure 29 permet d'évaluer les zones de la ville dont les niveaux de pollution présentes un impact sanitaire significatif. Dans ce cas de figure, les niveaux de pollution ont été mis en regard des valeurs règlementaires applicables discutées dans le paragraphe précédent. L'analyse de ces cartographies montre : Pour le NO_2, l'influence principale sur les niveaux de pollution calculés est d'origine routière. La valeur guide est dépassée uniquement au niveau des axes structurants dans la ville. Les valeurs tendent à diminuer rapidement avec l'éloignement des routes pour retomber sur des niveaux de l'ordre de quelques $\mu g/m^3$ au maximum.

Concernant les COV et plus particulièrement le benzène, les niveaux de pollution dépassent la valeur règlementaire sur une large partie de la ville de Bamako. Ces zones sont principalement localisées à proximité du réseau routier structurant de la ville et des lieux de fortes densités de population (notamment la partie sud-ouest de la ville). Ces tendances traduisent l'impact important des véhicules fonctionnant à l'essence, en particulier les véhicules 2-roues largement représentées dans le parc roulant de la ville. En parallèle, la contribution du secteur résidentiel, en particulier la combustion de cuisson a également une influence notable sur les niveaux de pollution en benzène.

Au niveau des concentrations de SO_2 : globalement les valeurs règlementaires sont respectées sur grande majorité

du domaine. Les zones de dépassement sont localisées aux niveaux des axes routiers les plus fréquentés. Les centrales thermiques ont également une influence significative mais localisée sur une petite partie de la ville au niveau de la zone nord-est.

Pour les poussières (PM10) et le CO : les niveaux de pollutions de ces deux traceurs montrent des signatures sur leurs impacts analogues, c'est-à-dire majoritairement influencés par le secteur résidentiel (combustion de bois). Au regard des valeurs règlementaires, des niveaux alarmants ont été calculés pour les PM10 sur la quasi-totalité de la ville. Cet impact significatif est un peu moins marqué sur les cartes de pollution du CO. La valeur règlementaire utilisée pour ce polluant est une valeur applicable sur une journée (valeurs maximale journalière des valeurs moyennes sur 8h glissantes), or les concentrations modélisées sont exprimées en valeur moyennes annuelles. Par conséquent, il est probable que l'impact sur une journée soit sous-estimé par les moyennes annuelles représentées sur cette cartographie. Nous attirons l'attention ici, que les cartes de concentrations du CO sont présentées dans ce rapport à titre indicatif. En conclusion, ces cartographies de la qualité de l'air sur la ville de Bamako indiquent des niveaux sanitaires potentiellement alarmants pour deux polluants : les poussières (PM10) et le benzène. Ces niveaux importants s'expliquent par les émissions résultantes du secteur résidentiel (combustion de bois) et du secteur routier. L'influence forte de ces deux secteurs révèle également des niveaux importants de monoxyde de carbone (CO). Ce polluant est présenté à titre indicatif dans ce document, une analyse plus fine sur ce dernier sera présentée dans le cadre de l'atelier de restitution. Il faut noter, finalement, l'influence du secteur industriel, marqué par des niveaux importants localisé sous les vents des installations pour le dioxyde de soufre (SO_2).

Impacts Sanitaires de la pollution atmosphérique.

Selon (Dockery et *al.*, 1993), plusieurs études ont mis en évidence l'impact de la mauvaise qualité de l'air sur la santé, en particulier sur le système respiratoire. Les particules fines entre autres sont susceptibles de pénétrer au plus profond du système pulmonaire et causant des inflammations. La pollution de l'air contribue ainsi au développement de pathologies tels que l'asthme, les cancers du poumon, les infections aigües, et dans les cas les plus graves conduire au décès des patients.

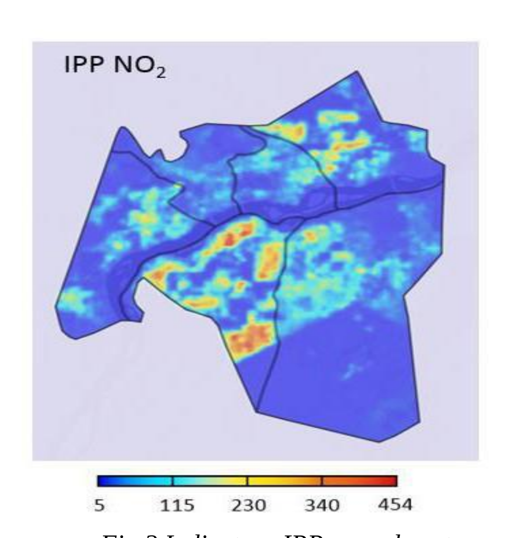
Diagnostic sur les populations exposées – indicateur IPP

L'indice de Pollution – Population (IPP) représente l'exposition potentielle des personnes à la pollution atmosphérique. Plus précisément, il s'agit de croiser les concentrations des polluants (le NO_2 et les PM10 qui sont les indicateurs les plus pertinents de la pollution urbaine) avec les populations exposées. A l'échelle d'une maille, on effectue le calcul suivant :

$$IPP = Ci \times Pi$$

Où *Ci* est la concentration du polluant considéré,

Pi est la population présente sur la maille considérée.



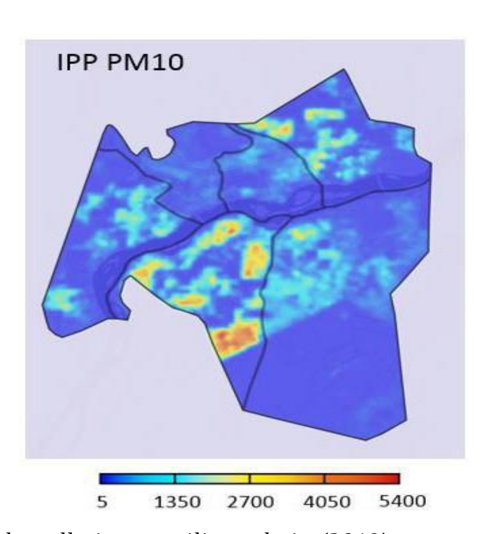


Fig.2 Indicateur IPP pour deux traceurs de la pollution en milieu urbain (2019)

Les cartographies des indices IPP PM10 et NO_2 sont présentées dans la figure ci-dessus (figure 2). Cette représentation spatiale permet de mettre en avant les zones les plus particulièrement touchées par la pollution atmosphérique. Les communes II, IV, et V en particulier sont les plus exposées à la pollution. L'indice IPP, en ce cas, ne reflète pas la réalité géographique des admissions à l'hôpital. Notamment, le nombre

d'admissions pour la commune V rapporté au nombre d'habitants y est plus faible malgré une exposition, selon

l'indice IPP, plus importante. Une première explication est dans l'approche même de l'interprétation des admissions, où il est implicitement fait l'hypothèse que les habitants ne sortent pas de leur commune, et que leur commune de travail et celle où ils sont admis sont les mêmes.

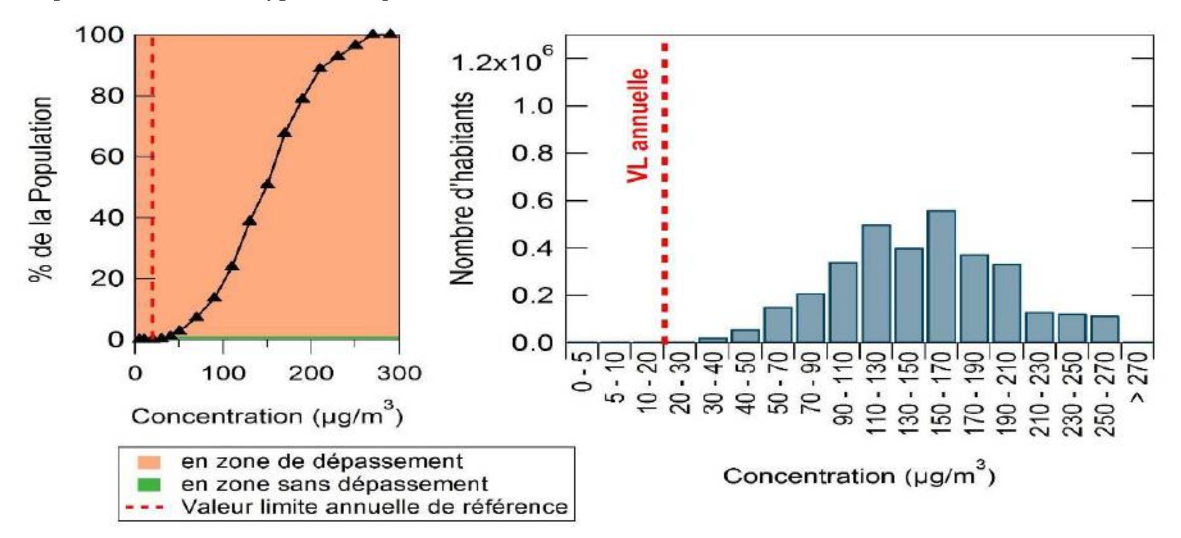


Fig.3 : Répartition cumulée du niveau d'exposition du benzène dans la population de la ville de Bamako (2019)

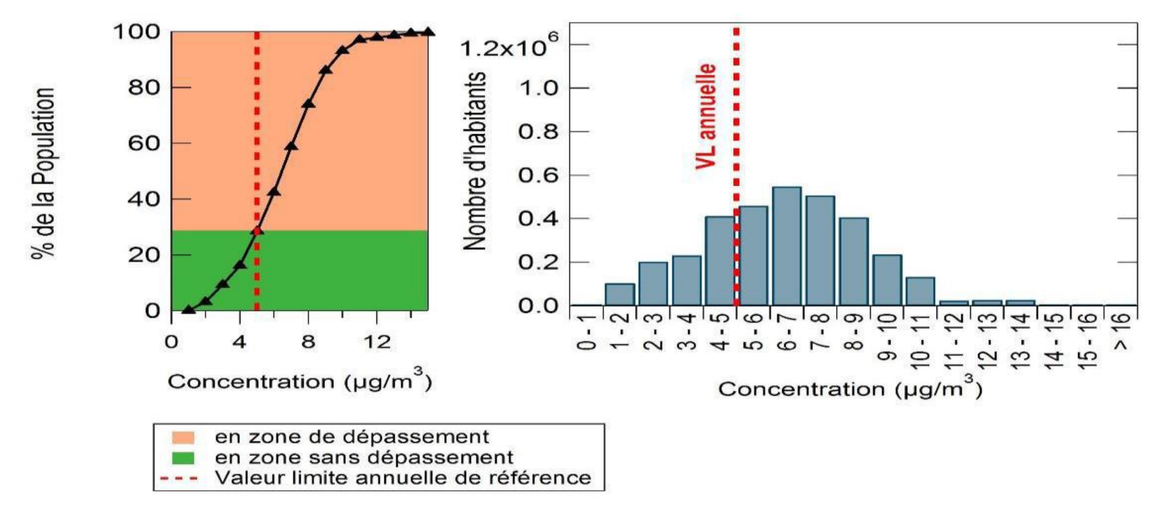


Fig.4 : Répartition cumulée du niveau d'exposition du benzène dans la population de la ville de Bamako (2019)

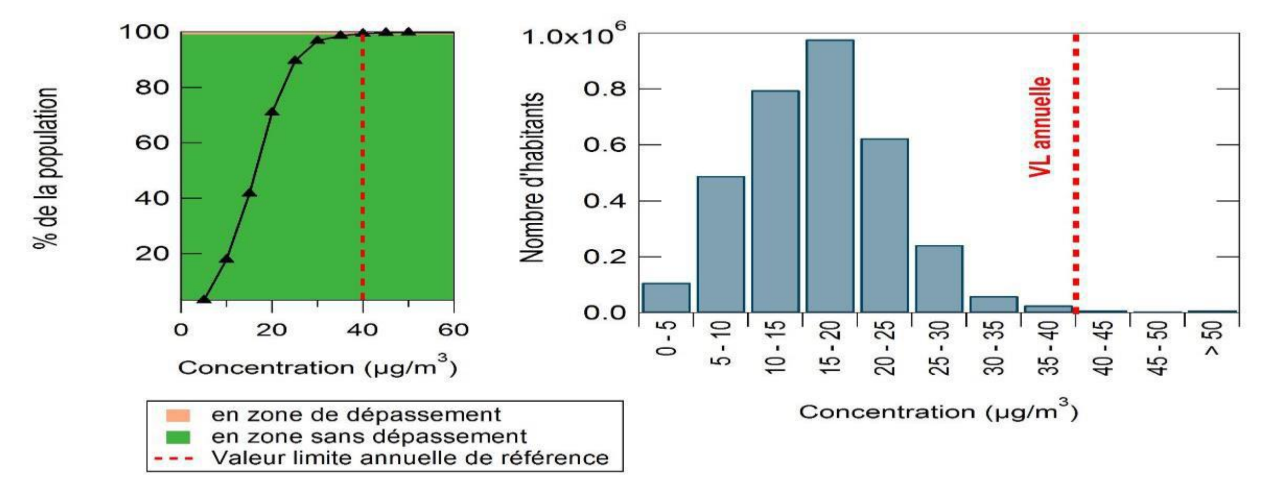


Fig.5 : Répartition cumulée du niveau d'exposition du NO2 dans la population de la ville de Bamako. (2019)

ISSN: 2456-1878 (Int. J. Environ. Agric. Biotech.)
https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.85.5

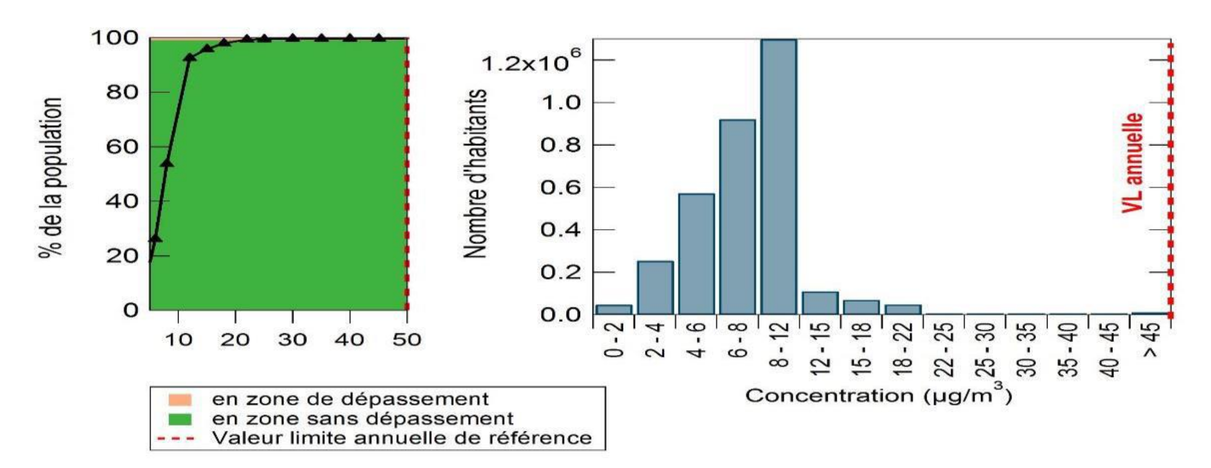


Fig.6 : Répartition cumulée du niveau d'exposition du SO2 dans la population de la ville de Bamako (2019)

V. CONCLUSION

La revue documentaire des concentrations dans plusieurs grandes villes Africaines a montré que les concentrations relevées dans le district de Bamako se situent au niveau de la médiane pour l'ensemble des polluants concernés. Fort de l'ensemble de ces éléments, un principe de plan de surveillance est proposé qui inclut une proposition techno-financière adaptée aux enjeux de la ville de Bamako. Le plan de surveillance doit pouvoir ainsi permettre de cibler au mieux les secteurs responsables et les zones à protéger afin de mettre en place les actions de mitigation et de protection les plus pertinentes. A long terme, aboutir à l'amélioration de la qualité de l'air et à la réduction de l'impact sanitaire sur les populations.

VI. DISCUSSION

La modélisation effectuée et les cartes de concentrations obtenues indiquent des zones de dépassement des valeurs retenues comme valeurs limites pour les PM10 (sur la quasi-totalité du territoire au nord de l'aéroport), pour le SO_2 (à proximité immédiate des centrales thermiques), pour le CO (sur certaines axes routiers des communes II, IV, V)

Les concentrations en PM10 à Bamako en 2019 ont atteint 69µg/m³alors qu'elles étaient de 503.6 µg/m³ en 2010 et 331 µg/m³ sur site de fond entre décembre 2009 et janvier 2010 (BURGEAP, 2010). A Dakar à la même période les concentrations en PM10 étaient de 155 µg/m³ (Doumbia et *al.*, 2013). En Afrique du sud elles sont de 72.4 µg/m³ pour la ville de Secunda et de 42 µg/m³ pour la ville de Witbank (Kuik et *al.*, 2015). Au Kenya à Nairobi 25 µg/m³ (Gaita et *al.*, 2014), au Caire en Egypte 48 µg/m³ (Boman et al., 2013) et 86 µg/m³ à Ouagadougou au Burkina Fasso (Boman *et al.*, 2009).

REFERENCES

[1] BURGEAP (2010**),** Etude de la qualité de l'air à Bamako - Banque Mondiale.

[2] BURGEAP (2019), Etude de la qualité de l'air à Bamako – DUE.

[3] Boman et al. (2013). On the elemental composition of PM2.5 in central Cairo, Egypt, X-Ray Spectrometry, 42,276-28.

[4] Dockery et al., (1993). An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. New England journal of Medicine.

[5] Doumbia et al. (2013). *Physico-chemical characterization of urban atmospheric pollution in West Africa and health impact study*. Thèse de doctorat. Université de Toulouse

[6] Gaita et al. (2014). Source apportionment and season al variation of $PM_{2.5}$ in a Sub-Saharan African city: Nairobi, Kenya, Atmos. Chem. Phys., 14,9977-9991.

[7] Kuik et al. (2015). The anthropogenic contribution to atmospheric black carbon concentrations in southern Africa: a WRF-Chem modeling study, Atmos. Chem. Phys., 15,8809–8830

[8] Maiga Y. (2018). *Les déchets d'équipements électroniques et informatiques au Mali : Quantification et Valorisation* 252 P, Thèse de Doctorat, USTTB, Mali

[9] Maiga Y. (2022**)**. *La pollution de l'air et les impacts sanitaires sur la population : cas de la ville de Bamako* 222 P, Thèse de Doctorat, IPU, Mali

[10] Word Bank. Ciba Found Symp, 206, 122-134. www.globalscientificjournal.com